

令和 4 年 6 月 9 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12877

研究課題名(和文) 義手を身体化するための相補的なマルチモーダル生体信号の計測と解析法

研究課題名(英文) Complementary multimodal biosignal measurement and analysis for prosthetic hand control

研究代表者

姜 銀来 (Jiang, Yinlai)

電気通信大学・脳・医工学研究センター・准教授

研究者番号：70508340

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：失った手の機能を再建する義手を制御するため、sEMG(表面筋電図)はよく利用されている。しかし、sEMG信号の数と質は使用者の状況に制限され、高機能義手の性能を発揮するために十分な情報が得られない場合がある。本研究は、sEMG信号不足の課題を解決するため、FMG(force Myography)を導入し、sEMGとFMGを計測する単体センサの開発と、sEMGとFMGから前腕手部動作の同定法の構築を行った。FMGの導入により信号全体のロバスト性が向上し、手部動作の識別精度が著しく改善された。sEMG-FMG単体センサにより、使用者の負担を増やさずに高機能義手を安定的に制御できることが期待できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義：本研究は、筋活動の機能的信号であるsEMGと組織的信号であるFMGを異種信号として組み合わせることで、筋活動に含まれた動作意図をより多く、より正確的に読み取ることができるようになった。異種の生体信号を非侵襲的に読み取り、総合的に解析する方法、サイボーグの要素技術となり得る。

社会的意義：異種のsEMGとFMG信号を単体のセンサで同じ場所で計測できるため、信号の可用性が高く、計測系もシンプルなままであるので、高機能義手の使用性を改善し、使用範囲を飛躍的に広げることにつながる。期待できる。

研究成果の概要(英文)：Surface electromyography (sEMG) has been widely investigated as a biological signal from which motion intentions can be recognized to control prosthetic hands. The availability and quality of sEMG can limit the usability and intuitiveness of advanced prosthetic hands that can restore most necessary hand movements. This study introduces force myography (FMG) as a supplementary signal and develops a hybrid sensor to measure sEMG and FMG signals simultaneously. Furthermore, a layer-fusion convolutional neural network (CNN) was proposed to analyze the sEMG and FMG signals. The recognition results of hand motion showed a significantly improved classification accuracy (CA) of the hybrid sEMG and FMG with respect to individual modality due to the robustness of FMG. The FMG-assisted sEMG sensing approach can effectively offer great potential in the clinical application of sophisticated prosthetic hands without increasing burden to the user.

研究分野：ヒューマンインターフェース

キーワード：筋電義手 表面筋電図 Force Myography

1. 研究開始当初の背景

先天的または後天的に失われた上肢機能の代替手段として、これまで様々な電動義手が開発されてきた。筋電義手は、切断端から計測可能な sEMG (surface electromyography、表面筋電図) を信号源とする電動義手の一種であり、人間の手に近い外観を有し、装着性も良く、直感的な操作性が特長である。近年、ロボティクスや、人工知能の発展の恩恵を受け、直感的に使用でき、身体の一部であるかように感じる身体化をもたらし義手が期待されている。

手指の高度な機能を再建する義手を自分の身体の一部であるように切断者が自由自在に操るためには、使用者の直感的な制御意図を残存部位の sEMG 信号から読み取る必要がある。しかし、切断部位、残存筋及び皮膚の状況、切断後の経過時間により、断端から計測できる筋電信号が限定され、制御意図の安定的な識別が困難である。実用環境における sEMG 信号の可用性 (Availability) の課題を解決するために、筋電の代替または併用の信号として、筋音図、圧力、姿勢などの生体信号を用いた研究も報告されているが、直感性が低く、計測装置が複雑になるなどして、使用者に精神的・身体的負担が生じる。

2. 研究の目的

本研究では、義手の実用環境下で筋電が不安定であり制御が困難になっている問題を改善するために、sEMG と相補的な関係を持つ生体信号を取り入れることで、以下の目的を達成する。

(1) sEMG の補助信号として FMG (Force Myography) を導入する。sEMG と FMG の計測を単体のセンサシステムに集約することで、使用者の負担を増やさずに同じ場所で 2 種類の信号を取得できるようにする。

(2) sEMG と FMG 信号の特性を検証し、2 種類の信号を同時に利用した前腕手部動作の識別法の構築し、実験による検証を行う。

3. 研究の方法

図 1~3 に sEMG と FMG を計測する単体センサの開発を示している。sEMG 計測ユニットは先行研究[1]の回路と電極を採用している。電極は、図 1(c) の示すように、シリコンとカーボンブラックで構成され、二層式で設計した。この二層式電極はより低い皮膚-電極接触インピーダンスをや高い信号の質を保証できる。電極は非アレルギー性で柔軟性があり、日常生活で長期間の使用に適している。また、使用者の断端の形により、電極のサイズは調整可能で、カスタマイズ性が高い。FMG 測定ユニットは、皮膚と伸縮バンド・義手ソケットとの間の圧力を計測するものである。その圧力は筋収縮と姿勢及び義手に掛けられた外力により変化する。本研究は、図 2 に示した反射型赤外光距離センサを用いて、圧力によって発生した弾性シリコンの変形を計測することで、圧力を測定する。sEMG と FMG の計測ユニットを垂直に組み合わせることで、同じ場所で 2 種類の信号を読み取る単体のセンサを構成する。3 つの単体センサを横向きに伸縮性がないバンドに集約し、前腕部に容易に実装できるようにする。掌屈動作に伴う sEMG 信号と FMG 信号

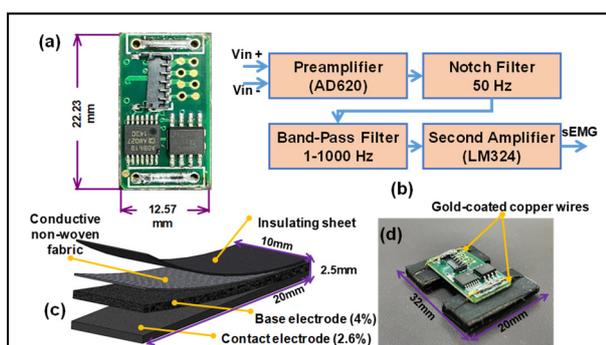


図 1. sEMG 計測ユニット. (a)増幅・フィルター基板. (b)回路図. (c)電極構造. (d)完成写真.

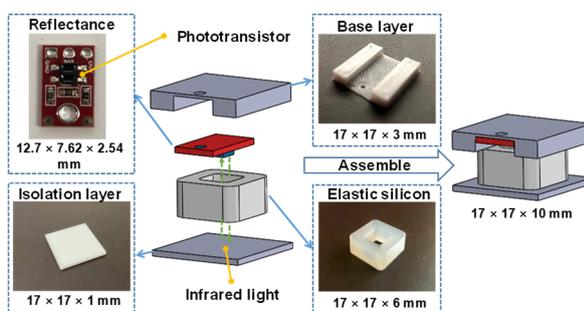


図 2. FMG 測定ユニット

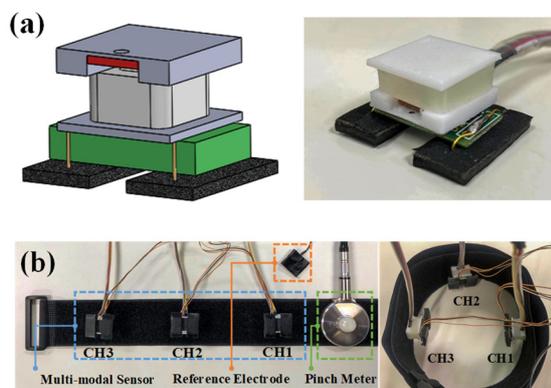


図 3. sEMG と FMG を測定する単体センサ (a) と 3 チャンネルのセンサバンド (b)

の例は図 4 に示す。

sEMG と FMG 信号の解析と識別の方法として、本研究は畳み込みニューラルネットワーク (Convolutional Neural Network, CNN) に基づき、Layer-Fusion CNN モデルを提案した。このモデルの特徴は、入力データを畳み込み操作しながら、各層が畳み込み処理された結果を 2 次元から 1 次元にすることで、最後の特徴融合層に直接に添付することである。従来の CNN モデルと比べて Layer-Fusion CNN モデルは、局所最適化の結果に導く機能がありつつ、全局的な特徴情報を識別器に提供することができる。

4. 研究成果

健常者 9 名から協力をもらい、開発したセンサと識別方法の検証を行った。実験では図 5 に示す 22 クラスの動作を識別対象とした。実験結果は識別精度 (CA) や F 尺度 (F1-score) で評価した。本研究で提案した Layer-Fusion CNN および従来の手法である SVM (Support Vector Machine) による識別結果は図 6 で示している。全体的に、SVM と Layer-Fusion CNN は似たような傾向を示している。単一信号のみによる識別と比べて、いずれの分類器でも、sEMG と FMG 両方による識別はより高い分類精度が得られた。同じ信号の場合、Layer-Fusion CNN は SVM より識別精度が有意に高かった。また、sEMG のみによる識別と比べると、両方による識別の精度は、それぞれ 21.31% (SVM) および 16.71% (Layer-Fusion CNN) 改善された。

図 7 の識別精度曲線に示された通り、sEMG より、FMG は学習セットとテストセットの最終的な汎化ギャップが小さかった。これは、sEMG がより高い識別精度を達成するものの、FMG が優れたロバスト性を提供する可能性があることを示している。

以上の結果により、同じ動きに関連付けられた異なる情報次元として sEMG と FMG を組み合わせることで、多自由度筋電義手の実用性を向上させることが可能である。sEMG と FMG を計測する単体センサを用いて、使用者の負担を増やさずに、多自由度筋電義手を安定的に制御できるようになることが期待される。

<引用文献>

[1] S. Togo, Y. Murai, Y. Jiang, and H. Yokoi, Development of an sEMG sensor composed of two-layered conductive silicone with different carbon concentrations, Scientific Report, vol.9, no.1, p.13996, 2019.

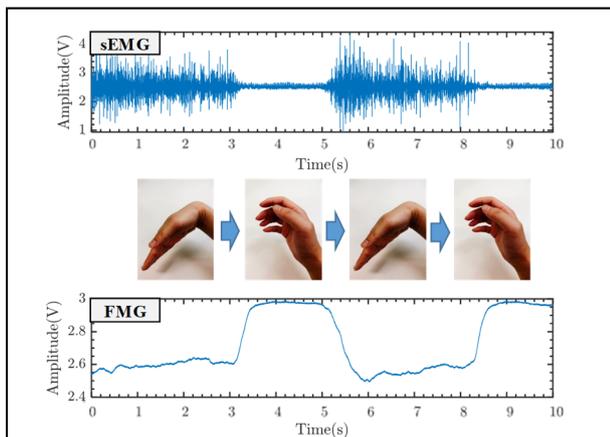


図 4. 手部動作による sEMG と FMG の変化

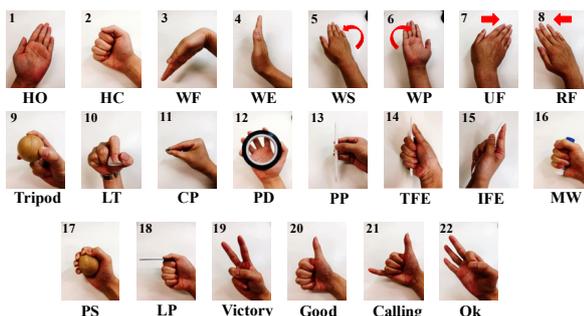


図 5. 実験に用いた 22 の前腕手部動作

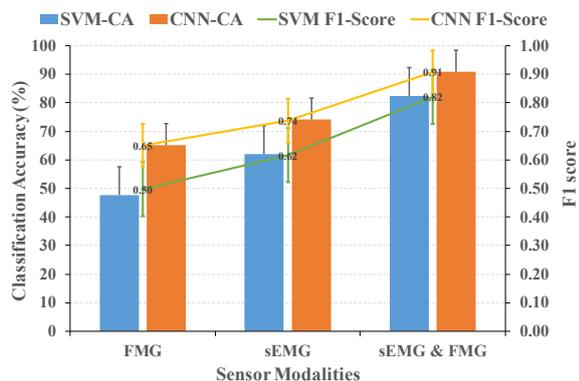


図 6. 前腕手部動作の識別結果

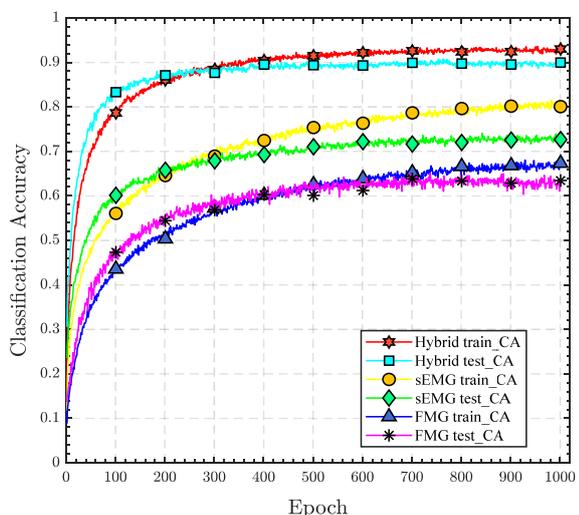


図 7. 各識別法の識別精度曲線

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 9件/うち国際共著 4件/うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Wenyang Li, Yiwei Wang, Shunta Togo, Hiroshi Yokoi, and Yinlai Jiang	4. 巻 6
2. 論文標題 Development of a Humanoid Shoulder Based on 3-Motor 3 Degrees-of-Freedom Coupled Tendon-driven Joint Module	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 1105-1111
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2021.3056376	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shunta Togo, Kazuaki Matsumoto, Susumu Kimizuka, Yilai Jiang, and Hiroshi Yokoi	4. 巻 2
2. 論文標題 Semi-automated control system for reaching movements in EMG shoulder disarticulation prosthesis based on mixed reality device	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Open Journal of Engineering in Medicine and Biology	6. 最初と最後の頁 55-64
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/OJEMB.2021.3058036	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 Wenyang Li, Peng Chen, Dianchun Bai, Xiaoxiao Zhu, Shunta Togo, Hiroshi Yokoi	4. 巻 37
2. 論文標題 Modularization of 2- and 3-DoF Coupled Tendon-Driven Joints	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Robotics	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TR0.2020.3038687	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する

1. 著者名 Susumu Kimizuka, Yohei Tanaka, Shunta Togo, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi	4. 巻 14
2. 論文標題 Development of a shoulder disarticulation prosthesis system intuitively controlled with the trunk surface electromyogram	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Frontiers in Neurobotics	6. 最初と最後の頁 74
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fnbot.2020.542033	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

1. 著者名 姜銀来,李文揚, 陳鵬,東郷俊太, 横井浩史	4. 巻 38
2. 論文標題 モジュール化したワイヤ干渉駆動型ヒューマノイド・ロボットアーム	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本ロボット学会誌	6. 最初と最後の頁 657-666
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.38.657	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Jing Xiaobei, Yong Xu, Jiang Yinlai, Li Guanglin, Yokoi Hiroshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Anthropomorphic Prosthetic Hand with Combination of Light Weight and Diversiform Motions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Applied Sciences	6. 最初と最後の頁 4203
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/app9204203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Togo Shunta, Murai Yuta, Jiang Yinlai, Yokoi Hiroshi	4. 巻 9
2. 論文標題 Development of an sEMG sensor composed of two-layered conductive silicone with different carbon concentrations	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-019-50112-4	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Yong Xu, Jing Xiaobei, Wu Xinyu, Jiang Yinlai, Yokoi Hiroshi	4. 巻 19
2. 論文標題 Design and Implementation of Arch Function for Adaptive Multi-Finger Prosthetic Hand	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Sensors	6. 最初と最後の頁 3539
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/s19163539	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている(また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 黒田 勇幹, 山野井 佑介, 東郷 俊太, 姜 銀来, 加藤 龍, 横井 浩史
2. 発表標題 筋電信号の時変性に適応する教師データ更新手法に関する研究
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 島田 孝太, 東郷 俊太, 姜 銀来, 横井 浩史
2. 発表標題 磁気センサを応用した柔軟な圧力センサの開発
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村 優子, 姜 銀来, 横井 浩史, 東郷 俊太
2. 発表標題 肩義手のための腕の手先位置のフィードバックシステムに適した振動刺激の検討
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 平井 太智, 中尾 聡一郎, 小野 祐真, 黒田 勇幹, 矢吹 佳子, 山野井 佑介, 東郷 俊太, 姜 銀来, 加藤 龍, 横井 浩史
2. 発表標題 先天性前腕欠損者のための幼児用2自由度電動義手の開発
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中尾 聡一郎, 平井 太智, 小野 祐真, 山野井 佑介, 黒田 勇幹, 矢吹 佳子, 東郷 俊太, 姜 銀来, 加藤 龍, 高木 岳彦, 石原 正博, 横井 浩史
2. 発表標題 回内・回外機能を有し個性に適応する幼児用筋電義手の開発と評価
3. 学会等名 第38回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Xu Yong, Xiaobei Jing, Xinyu Wu, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi
2. 発表標題 Development of an Adaptive Prosthetic Hand
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xiaobei Jing, Xu Yong, Guanglin Li, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi
2. 発表標題 Design of A Prosthetic Hand for Multiple hand Motions
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Xiaobei Jing, Xu Yong, Yuankang Shi, Yoshiko Yabiki, Yinlai Jiang, Hiroshi Yokoi, Guanglin Li
2. 発表標題 A Gear-Driven Prosthetic Hand with Major Grasp Functions for Toddlers
3. 学会等名 2019 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuankang Shi, Shunta Togo, Yinlai Jiang, and Hiroshi Yokoi
2. 発表標題 Development of Soft Impedance Balancer for EMG Electrode
3. 学会等名 The 2019 IEEE International Conference on Real-time Computing and Robotics (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計1件

産業財産権の名称 筋電センサ及び電極部材	発明者 横井浩史, 姜銀来, 石源康, 東郷俊太, 村井雄太, 君塚進	権利者 国立大学法人電 気通信大学
産業財産権の種類、番号 特許、2019-105592	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔その他〕

電気通信大学横井・姜・東郷研究室 http://www.hi.mce.uec.ac.jp/yk/klab/index.html

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	横井 浩史 (Yokoi Hiroshi) (90271634)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授 (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------